

秦岭造山带黑色岩系与金属矿床类型及成矿系列

张复新 王立社 侯俊富

(西北大学大陆动力学国家重点实验室, 西北大学地质学系, 陕西 西安 710069)

摘要:秦岭造山带黑色岩系划分为南、北、中三个带,北带分布于北秦岭,以秦岭杂岩为基底的岛弧火山岩与花岗岩带到二郎坪弧后边缘海盆带,形成于活动大陆边缘类似的沟、弧、盆构造体系,产出沉积-变质-构造-热液改造型镍-钼小型矿床。中带分布于南秦岭北部,环绕岛链古隆起形成深水-半深水滞留断陷局限盆地,发育与热水沉积有关的黑色岩系,赋存沉积轻微改造型超大型钒矿床和沉积-构造-热液改造型大型金-钒矿床。南带分布于南秦岭南部,扬子板块北缘早古生代沉积区局部拉张环境发育裂谷式断陷盆地,发育巨厚的硅质-泥质-重晶石互层岩系,形成沉积改造中型含钼-钒矿床和热水沉积大型毒重石-重晶石矿床等。解剖了秦岭黑色岩系容矿的典型矿床特征与成矿作用,划分了矿床成因类型,建立了黑色岩系容矿的金属矿床成矿系列。

关键词:黑色岩系;钒-金矿床;镍-钼矿床;钼-钒矿床;成矿系列;秦岭造山带

中国分类号:P618.74

文献标志码:A

文章编号:1000-3657(2009)03-0694-11

20 世纪末,黑色岩系及其相关矿产研究与找矿引起人们特别的关注,近些年来,秦岭造山带黑色岩系中找矿有明显突破,勘查成功中村银花钒矿、夏家店钒-金矿、烂木沟金矿、清岩沟镍-钼矿、鲤鱼山钼-钒矿、鲁家坪毒重石-重晶石-钼解石矿床等。讨论黑色岩系在秦岭造山带中的分布、组成、产出规律,黑色岩系中相关金属矿床成因与成矿规律已成为秦岭地区找矿的热点,笔者愿将近几年对秦岭黑色岩系中矿床研究的系列成果与同行逐步交流。

1 秦岭黑色岩系及其矿床产出地质背景

黑色岩系所在秦岭造山带成矿背景总体表现为:中-小洋-陆板块构造体制与陆内造山作用的复合造山特征,具有东古特提斯和东亚与中国大陆地质典型代表意义的复合造山带特点,表现出长期处于多种巨型构造复合、多个板块活动汇聚及区域断裂构造交汇的特殊构造背景之下的拼合地质体^[1]。古老结晶基底整块和零星同在,大陆边缘侧向急剧

加积增生,陆-陆俯冲碰撞造山直至拼合统一,陆内叠加的复合构造形成复合造山带。上述构造活动和演化,最终划分为 3 个一级单元的板块和两条碰撞结合缝合带^[1]:即华北、扬子板块和夹持之间的后期独立出来的秦岭地块,以及商(县)-丹(凤)与勉(县)-略(阳)缝合带。三板块分别沿两缝合带不同时期的俯冲拼合与碰撞造山,于晚海西-印支期最后拼合封闭,形成统一的中国大陆。

在统一的复合型大陆造山带中,在秦岭区各类含矿建造中,构造薄弱的地段保留原生沉积型钒、重晶石矿床;构造强烈地区富集形成一批沉积-改造-叠加型微细浸染型金矿和热水沉积改造型银-多金属矿床;岩浆作用发育地段,出现斑岩型钼矿和热液脉状铜-钼矿床与超基性岩为容矿的金-镍与镍-金矿床;黑色岩系为容矿的超大-大型贵金属、黑色金属、多种金属矿床类型^[2]。笔者主要探讨秦岭区分布的黑色岩系含矿建造,在大陆边缘构造演化时期,在局部拉张断陷古盆地形成的含矿岩系及其沉积矿产,并于后期陆内造山形成的一系列改造型金属矿床。

收稿日期:2009-01-03;改回日期:2009-04-09

基金项目:国家自然科学基金项目(40572065)和国家重大基础研究规划项目(2006CB403507)资助。

作者简介:张复新,男,1945 年生,教授,博士生导师,矿床地质与地球化学专业;E-mail:zhangfux@nwwu.edu.cn。

2 黑色岩系分带与分布

秦岭黑色岩系及其相关金属矿床，在秦岭各成矿带中均有不同程度的发育,按照地质背景、岩石组合与时空分布特征等，将秦岭造山带黑色岩系划分为北、中、南三个岩系带及相关金属成矿带。

2.1 北带黑色岩系

2.1.1 北带黑色岩系地质背景

黑色岩系北带位于商—丹缝合带之北，铁炉子区域大断裂北侧的北秦岭区。北秦岭区地质构造背景较为特殊，该区黑色岩系属奥陶系庙湾组^[3](表 1)。从地质构造演化上证明北秦岭至少在中元古代已拼合到华北板块上^[4],并作为华北板块南缘活动大陆边缘的主体。至寒武纪—奥陶纪华北板块南缘已具活动大陆边缘性质，即扬子板块已启动向华北板

块之下俯冲消减,使华北板块南缘呈现出由南向北依次从商—丹俯冲带,以秦岭杂岩为基底的岛弧火山岩与花岗岩带到二郎坪弧后边缘海盆带,形成与活动大陆边缘类似的沟、弧、盆构造体系,北带黑色岩系即出于这一弧后与拉张盆构造背景中(图 1)。

2.1.2 北带黑色岩系地层划分与分布

北带地区靠近商丹缝合带地质构造活动强烈,该黑色岩系是从原新元古代陶湾群解离出的奥陶系下部庙湾组岩段^[9](表 1),分布于铁炉子—栾川区域大断裂以北,平行断裂东西展开,被洛南和卢氏两个中新生代盆地分隔成大荆—黑龙口、洛南—灵口和栾川—庙子镇三个出露段(图 2),是分布在华北地块与北秦岭褶皱带之间的冒地槽沉积。所研究的黑龙口—大荆地区黑色岩系,大地构造上位于北秦岭商—丹古洋盆北部火山岛弧北侧的活动陆缘的边缘海沉积(图

表 1 北秦岭区陶湾群划分对比表(据张维吉,李育敬)
Table 1 Stratigraphic correlation of Taowan Group in North Qinling belt

地区		黑龙口—大荆		洛南—灵口		卢氏—栾川	
上覆地层		P ₁	下石盒子组	P ₁	下石盒子组		
陶湾群	奥陶系	Og	垢神庙组				
		Os	石板河组	Os	石板河组		
		Oq	屈铜组	Oq	屈铜组	Oqm	秋木沟组
		Om	庙湾组	Om	庙湾组	Ot-sc	风脉庙—三岔口组
下伏地层		C ₃	上寒武统	Pt _{3b}	宝山沟组	Pt _{3y}	鱼库组

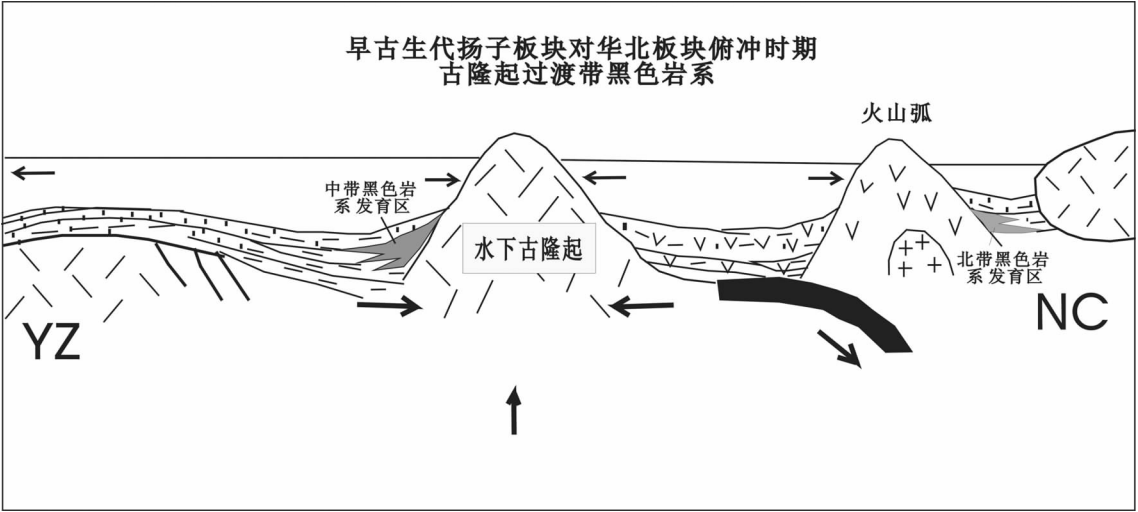


图 1 黑色岩系北带产出秦岭造山带中地质构造背景
Fig.1 Geological setting of the north belt black rock series in Qinling orogenic belt

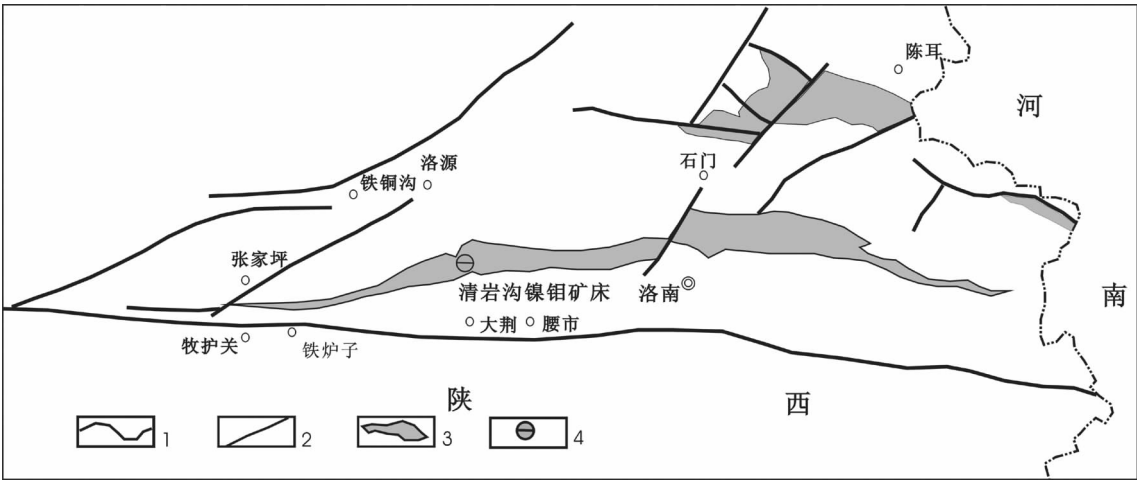


图 2 秦岭造山带北带黑色岩系分布略图

1—地质界线;2—断层;3—奥陶系黑色岩系;4—镍钼矿床

Fig.2 Distribution of the north belt black rock series in Qinling orogenic belt

1—geological boundary; 2—fault; 3—Ordovician black rock series; 4—nickel-molybdenum deposit

2), 该背景下沉积海盆中同沉积构造活跃且强烈, 物质来源具壳—幔多源的混杂性, 沉积了富含金属硫化物的碳—泥质岩系, 导致富集成矿物质的北带黑色岩系形成独特的镍—钼成矿元素共生的矿床(表 2)。

2.2 中带黑色岩系

2.2.1 中带黑色岩系地质背景

位于山阳—凤镇与镇安—板岩镇大断裂之间, 多沿链状古陆周围分布, 属于南秦岭地块北缘部分。是显生宙以来, 南、北两板块启动现代板块构造运动时的产物, 随两大板块持续俯冲拼合、挤压叠合及隆升, 沿南秦岭地块北部过渡性基底隆升, 由东至西出

现陡岭—小磨岭—佛坪—吴家山古岛链^[4]。所研究的黑色岩系中带即环绕这些古岛链形成深水—半深水滞留断陷局限盆地(图 3), 由含喷流沉积的重晶石红色硅质岩、黑色炭质硅质岩、炭质硅质泥板岩—炭质泥板岩及炭质层组成的沉积岩系, 成为钒—金、钒矿产的有利含矿建造^[5]。

2.2.2 中带黑色岩系分布

秦岭造山带黑色岩系中带以早寒武世水沟口组为代表, 下伏平行不整合于震旦系灯影组硅质白云岩之上, 上覆与岳家坪组或石瓮子组连续沉积。黑色岩系下部发育砖红色、含炭质硅质板岩、中部黑色炭

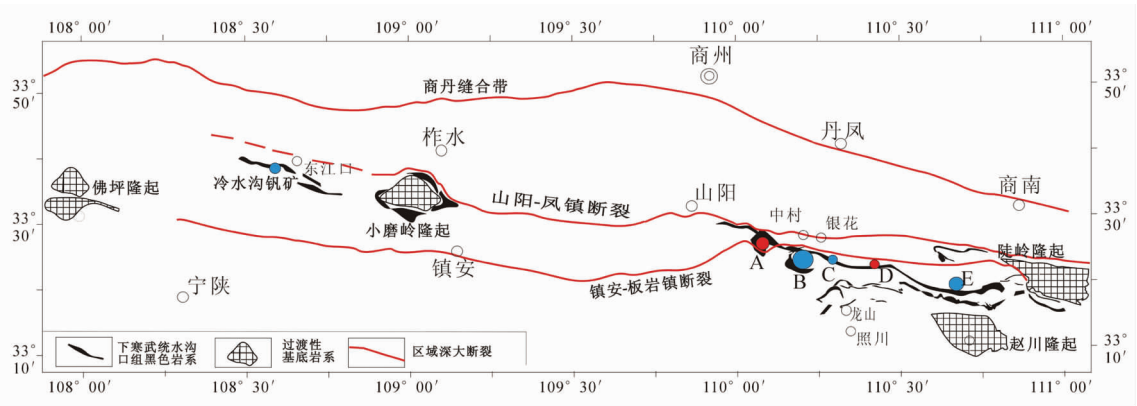


图 3 黑色岩系中带分布略图

A—夏家店金—钒矿床; B—中村—银花钒矿床; C—五色沟钒矿床; D—甘沟金(钒)矿点; E—千家坪钒矿床

Fig.3 Distribution of intermediate belt black rock series in Qinling orogenic belt

A—Xiajiadian vanadium-gold deposit; B—Zhongcun-Yinhua vanadium deposit; C—Wusegou vanadium deposit; D—Gangou vanadium-gold ore spot; E—Qianjiaping vanadium deposit

质板岩与黑色硅质岩薄互层,往上逐渐过渡为黑色炭质板岩夹含黑色硅质岩薄层,上部为杂色灰岩、白云质灰岩等。中带分布区由东向西变化特点是:含炭质硅质板岩、灰岩显示减少趋势,地层厚度减薄,变质重结晶渐深,赋存矿产单一,规模减小。

2.3 南带黑色岩系

2.3.1 南带黑色岩系分布

南带黑色岩系分别产有下寒武统鲁家坪组(εL)和奥陶系—志留系斑鸠关组(O-S)_b,在南带 3 个地层小区均有分布(图 4)。

①鲁家坪组分布于紫阳红椿坝断裂以南,隶属高滩—兵房街地层小区,鲁家坪组系耀岭河组变质火山岩或火山碎屑岩之上,箭竹坝组薄层灰岩之下发育的一套黑色岩系,黑色板岩为主的细碎屑岩地层,见薄层黑色硅质岩和少量灰岩、粉砂岩等。局部富含黄铁矿、菱铁矿、磷块岩、重晶石、毒重石矿层。与下伏地层不整合接触,与上覆地层连续沉积。或分布于大巴山断裂与月河断裂之间,呈带状于前震旦纪古隆起的外缘,产出鲤鱼山含钼钒矿。

②奥陶系—志留系斑鸠关组在高滩—兵房街地层岩性稳定,厚度变化大。紫阳—平利地层小区该组岩性变化大,紫阳县城—焕古滩一带为炭质硅质板

岩、钙质板岩夹后期含贯入的粗面岩、角砾熔岩、粗面质凝灰岩等,并富含钒、钴、镍等,多发育石煤,厚度可达 1000~1600 m。在白河县、旬阳和安康、石泉、洋县北部,本组主要由含炭质硅质岩、泥质板岩、千枚岩、绢云片岩夹硅质细晶灰岩,厚度为 30~220 m。

2.3.2 南带黑色岩系地质背景

南秦岭南带黑色岩系是在晋宁期构造运动(1.0~0.8 Ga)扬子板块形成统一基底之后,使古秦岭区古陆块汇聚。震旦纪至早古生代,扬子板块北部边缘处于伸展裂解环境,是基于扬子板块向华北板块相对俯冲对接所致,造成扬子板块北缘沉积区向北俯冲动力学的不平衡,导致局部拉张与挤压相间出现,拉张环境发育裂谷式断陷盆地,总体形成堑—垒相间构造格局(图 5)。早古生代盆地沉积物充填受同沉积断裂控制,分别以麻坪河断裂、月河断裂、红椿坝断裂将盆地分为高滩—兵房街台缘斜坡区、紫阳—平利裂陷区、牛山水下隆起区和镇旬缓坡区,各区沉积建造、岩石组合有一定差别。

2.4 黑色岩系南、北、中三带综合地质对比

南秦岭黑色岩系南、北、中各带均处于秦岭造山带次级拉张构造背景中(表 2),岩系地层时代、空间分布与变化存在差异;建造岩性组合为含炭质细碎

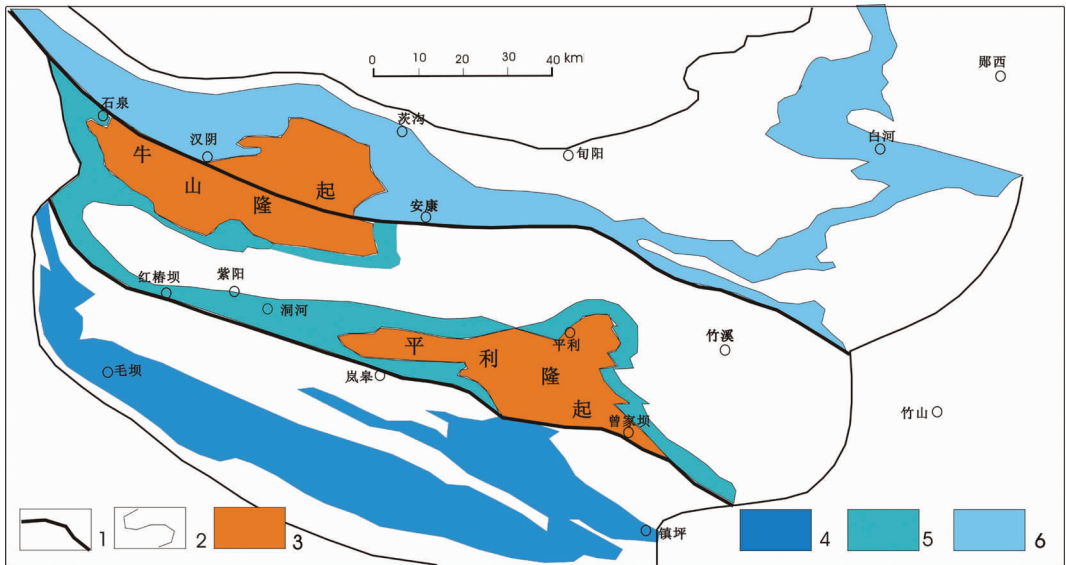


图 4 黑色岩系南带分布略图
1—断裂;2—地质界线;3—古隆起;4—高滩—兵房街地层小区黑色岩系
5—紫阳—平利地层小区黑色岩系;6—牛山地层小区黑色岩系
Fig.4 Distribution of south belt black rock series in Qinling orogenic belt
1—Fault; 2—Geological boundary; 3—Old dome; 4—Gaotan—Bingfangjie stratigraphic unit of black rock series;
5—Ziyang—Pingli stratigraphic unit of black rock series; 6—Niushan stratigraphic unit of black rock series

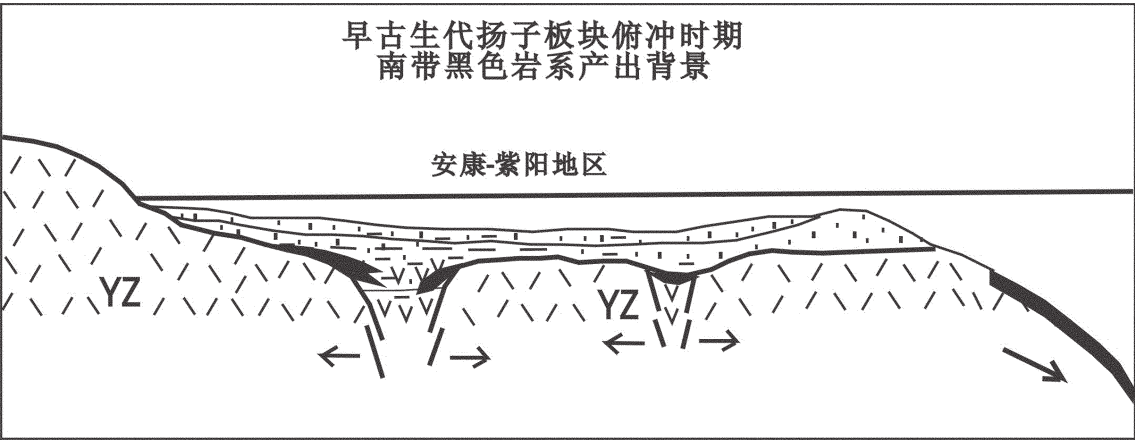


图 5 黑色岩系南带在秦岭造山带中产出地质背景
Fig. 5 Geological setting of south belt black rock series in Qinling orogenic belt

表 2 北带黑色岩系成矿微量元素分析/10⁻⁶
Table 2 Trace element content of north belt black rock series

元素	炭质绢云 石英千枚岩	含炭硅质岩 千枚岩	炭质千枚岩	含炭砂泥质 千枚岩	含炭硅质 千枚岩	上地壳 (Taylor et al.1985)
Mo	18	254	132	119	135	1.5
Ni	68	25	103	101	40	20
V	291	184	155	1297	96	60
Cu	523	22	82	184	19	25
Ti	5157	4217	3834	3374	3454	
Ba	3618	413	399	8	823	

注：西北有色地质研究院分析测试中心。

屑岩类中,但岩石类型及其岩性组合有差异;虽然它们含矿性均属优越,但成矿元素组合与控矿因素存在差别,最终导致形成的矿种和矿床类型与组合有不同。南秦岭寒武纪黑色岩系属于过渡型沉积环境、分布广泛,成矿以 Au-V、V-Mo-V、Ni-Mo、Ba 组合为特征,是中国南方黑色岩系建造形成的重要时期;北带黑色岩形成于奥陶纪,成矿以 Ni-Mo 为特征,两者的不同应是华北与扬子板块组成及结构性质与构造背景明显差别的原因,成矿以沉积-变质-强烈改造型镍-钼矿为特色。中带黑色岩系产出沉积-改造型金-钒和沉积型钒矿床,南带黑色岩系为沉积型钒矿、沉积型毒重石-重晶石矿床、沉积-轻微改造的小型金矿床及石煤为主。

3 黑色岩系典型矿床

黑色岩系中的含矿性众所周知,缺氧下的深水-半深水古地理环境,伴随热水喷流活动,硅质-粘土质-泥质-重晶石层为特色,富含金属硫化物和

有机炭质,薄互韵律层发育,赋存的贵金属、贱金属、放射性金属、黑色金属等丰度高,褶皱与韧性剪切构造发育,沉积与改造型成矿几率高。在其中所发现的各类矿床均与黑色岩系具密切成因联系^[6]。研究认为,秦岭各带黑色岩系沉积期即形成很好的含矿岩系,后期构造改造破裂又成为极好的容矿岩系,黑色岩系中土生土长成矿物质,经改造脱离强还原炭质的束缚,炭质石墨化、热解变成可溶性有机质^[7],直接参与对成矿物质的溶解萃取、活化迁移、富集淀积于构造扩容带中成矿。

3.1 清岩沟镍-钼矿床

3.1.1 矿区及其外围黑色岩系含矿性

清岩沟含钼-镍矿产于黑色岩系北带,为 Mo、Ni、Cu、V、Ti 等丰度高的含矿黑色岩系(表 2),原岩由含硫铁质炭质泥岩、泥质粉砂-细砂岩、含铁质炭质粉砂-细砂岩质泥岩及炭质碳酸盐岩夹互层组成。黑色岩系中 Mo、Ni 不属同一来源,Mo 为亲上地壳元素,与成熟度极高的长英质岩石密切共生,而

Ni为地幔岩富集元素,本区背景岩石建造中不缺乏这两种元素,均通过沉积作用从各自的富集地质单元聚合一起的,主要以类质同象赋存于黄铁矿和吸附及配合于炭-泥质中。

3.1.2 含矿黑色岩系变质作用成矿物质调整与迁移

含矿岩系先经早期区域变质-变形作用,岩石普遍千枚岩化,泥质、炭质、钙质重结晶(黄铁矿变晶、变斑状钛铁矿-金红石-磁铁矿、石墨-白云母变晶、斑点及变斑状黑云母、方解石-石英变晶),粉砂-细砂石英归并形成较大的聚合变晶,岩石成分在变质变形过程中发生分异,岩石中形成绢云母、炭质-泥质与黑云母-石英相对集中的片状、条带状构造,同时有平行片理化带的变质石英细脉产生,原生沉积层理消失殆尽,变质岩石片状构造典型。区域变质作用过程中,岩系中Mo、Ni、Ti、Cu、P丰度高的含矿元素,通过变质分异、矿物重结晶净化而发生生活化、再迁出与近距离转移富集,形成含矿物质的新生矿物。

3.1.3 清岩沟镍-钼矿床特征概述

矿体赋存于绢云炭质千枚岩段再经韧-脆性剪切变形叠加的地层与构造联合控制的容矿带中,具明显的层控与构造-热液叠加成矿的特征。镍-钼矿(化)体就位于绢云炭质千枚岩的强烈揉皱变形及膨胀部位,几组断裂交叉地段,灰质白云岩构造透镜体并切入韧-脆性剪切变形的绢云炭质千枚岩段的接触带中及其两侧部位,较强构造破碎部位镍-钼矿化明显增强。矿化热液活动发育,出现硫化物型的含镍、钼的矿化与蚀变,形成早期辉钼矿-石墨矿化阶段,稍晚的磁黄铁矿-黄铁矿-镍黄铁矿-毒砂组合阶段,及中晚期阶段的黄铜矿-闪锌矿-方铅矿组合阶段,伴随较强烈的钾长石化、硅化、白云石化、绿泥石化及方解石化。镍、钼矿化常见共生特征,形成炭质千枚岩型、白云岩型和细晶大理岩型镍-钼矿石类型。

3.1.4 镍-钼矿体特征

按矿体空间分布位置,划分出3个镍-钼矿带,主要矿体赋存于Ⅰ、Ⅲ矿带中。Ⅰ号镍-钼矿带,Ⅰ号钼矿化带位于矿区南部,长896 m,包含4条镍-钼矿体。最大两个矿体Ⅰ-1和Ⅰ-2号矿体平行展布,矿体西段南倾、东段东倾,倾角48~65°,由多组断裂构造控制所致。Ⅰ-1镍-钼矿体长896 m,厚度0.67~5.06 m,钼品位0.05%~0.21%。Ⅰ-2钼矿体长

762 m,矿体厚度0.91~4.46 m,钼品位0.034%~0.42%。两矿体镍的平均品位为0.131%。镍-钼矿体连续性较好,有分支复合现象,但厚度和品位变化较大,向深部延伸较稳定。

Ⅲ号镍-钼矿带,地表上Ⅲ号钼矿化带位于Ⅰ号钼矿化带北部约80 m,矿化带长1250 m,北东东向展布,包含3条钼矿体,矿体倾向150~170°,倾角50~60°。各矿体大体相互平行。其中Ⅲ-1钼矿体地表上舒缓波状延伸。矿体长646 m,矿体厚度0.93~2.81 m,钼品位0.054%~0.136%。Ⅲ-2钼矿体位于Ⅱ-1钼矿体以北,矿体长300 m,厚度0.33~1.89 m,钼品位0.054%~0.058%。Ⅲ-3钼矿体长100 m,矿体厚度0.44 m,钼的品位0.092%,镍的品位较低。

3.1.5 清岩沟镍-钼矿床叠加-改造成矿机理

镍-钼矿化先期经变质分异、活化转移、初步富集,再经后期强烈的韧-脆性构造叠加,变质-变形的黑色岩系发生多期-多阶段变形改造,粒状及片状变晶矿物揉皱变形,发育的 S_1 、 S_2 片理,同时出现黑云母、磁铁矿旋转变斑,变质分异的石英细脉形成石香肠,白云母-石英千枚(片)岩及碳酸盐岩构造透镜体-扁豆体化,层状黑色岩系强烈变形揉皱与膨大,特别在变形揉皱与膨大部位的刚性与塑性构造体间。工业矿体、矿化体就位于黑色岩系强烈揉皱与膨大的片理化带中,赋存于强变形的刚性与塑性构造体接触带上,呈构造扁豆体、眼球透镜状及脉状体。镍-钼矿化经历了沉积-变质-构造变形叠加-热液活动改造而形成。综上所述,清岩沟镍-钼矿床属于以黑色岩系为容矿的层控型沉积-叠加-改造的后生热液成因矿床。

3.2 夏家店钒-金矿床

夏家店钒-金矿产于黑色岩系中带,成矿特点鲜明、典型,矿床形成以地层物质为基础,控矿构造为脆-韧性性质,构造强烈具多次叠加特点,构造与矿化具多期多阶段特征,在矿化强烈地段矿化类型具有明显分带,脆-韧性剪切带是对含矿岩系的天然“加工厂”。

3.2.1 中带黑色岩系含矿性

该含矿岩系为下寒武统水沟口组,下部厚层块状紫红色重晶石-硅板岩;中部含炭泥质硅板岩-硅质泥板岩-炭质泥板岩互层夹粘土岩,含金性好,为主要容矿岩层(表3)。该赋矿岩系具备下列热水沉积成因特征:①硅质板岩的沉积特征毋庸置疑,与下

表 3 中带黑色岩系金等微量元素含量/ 10^{-6}
Table 3 Trace element content of intermediate belt black rock series

含矿岩石	Au(10^{-9})	Ag	As	Cu	Zn	Ni
含炭硅质板岩	130	1035	1500	1900	1600	1800
上陆壳 (Taylor, 1985)	1.8	0.06	1.5	25	71	20

注:西北有色地质研究院分析测试中心。

伏震旦系呈平行不整合接触关系,是过渡性基底构造突发沉降导致黑色岩系的发育;②硅质石英和泥质绢云母结晶细微、颗粒大小均匀,沿层位走向稳定,不含任何热液蚀变迹象;③含有沉积成因微细粒重晶石,呈纹层相对集中分布或均匀散布硅岩中,与沉积硅质石英混生;④沉积重晶石的存在反映沉积环境盐度与矿化度较高,钡与硫的出现是热水-热泉活动的直接产物;⑤该硅质、重晶石与相当含量的莓球状黄铁矿共生一起,进而佐证重晶石硅质岩的热水沉积成因;⑥岩石稀土含量低,稀土标准化模式与南秦岭热水沉积硅岩相似,进而表明它们是高盐度海底热水喷流沉积的产物。

3.2.2 控矿脆-韧性剪切带

夏家店金矿控矿构造是在秦岭造山过程的南北挤压应力作用下,前期在褶皱变形基础上,再经倒转和紧闭,引发岩系内薄弱带(炭-泥-硅质板岩薄互层)上叠加近 EW 向脆-韧性剪切构造变形。该早期剪切变形强烈,沿层间片理化(S_1)极其发育,进而的剪切出现 S-C 组构, S_1 、 S_2 的交汇发育不同尺度的剪切构造透镜体,偶见压力影构造,剪切熔蚀作用不时可见,大量含矿的微细浸染-脉状硅化作用应是岩层内构造热液作用分异的结果。中期碎裂脆性断裂主要表现为一次角砾岩化和二次角砾岩化,角砾岩化仍叠加于片理化硅质板岩及含炭泥质板岩之上,胶结物由铁碳酸盐矿物组成。晚期拉张脆性断裂由构造裂隙中充填石英-方解石及重晶石脉体。

3.2.3 矿体特征

工业矿体由Ⅰ号和Ⅱ号带组成,呈大小不一的扁豆状体,矿体两端尖灭处多有分叉,完全受含矿层位有利岩性及褶皱剪切构造控制。

Ⅰ-1 号金矿体矿化较好,矿体产状与 F_4 断层大体一致,Ⅰ-1 号矿体倾向 $290^{\circ}\sim 315^{\circ}$,倾角 $50^{\circ}\sim 63^{\circ}$,长 200 m,厚 1.0~16.6 m,平均厚 9.2 m。矿体形态呈透镜状、扁豆状,总体向南西倾伏,并且矿化明显有加强趋势,倾伏角 70° 。Au 的品位 $1.00\times 10^{-6}\sim$

10.31×10^{-6} ,平均 3.88×10^{-6} ,最高为 30.90×10^{-6} 。引起金矿化蚀变矿物组分主要为黄铁矿化、白铁矿化、硅化、铁白云石化、铁方解石化,氧化次生富集金进一步聚集。

Ⅰ-2 号矿体扁豆状、透镜状,地表长 450 m,最大垂深 240 m,平均厚 1.69~5.57 m。倾向 $310^{\circ}\sim 330^{\circ}$,倾角 $50^{\circ}\sim 55^{\circ}$,Au 的品位 $1.82\times 10^{-6}\sim 8.64\times 10^{-6}$ 。

Ⅱ-1 号矿体,控制长 300 m 以上,深部(50 m)由 PD3、PD5 坑控制亦见矿良好。矿体产状 $325^{\circ}\angle 53^{\circ}\sim 356^{\circ}\angle 43^{\circ}$,北东至近东西走向。矿体呈扁豆状,受揉皱-剪切破碎带控制。Au 平均品位 $3.14\times 10^{-6}\sim 1.34\times 10^{-6}$ 。矿石类型为片理化-碎裂泥质硅板型、含石英脉-碎裂泥质硅板岩型金矿石及含金石英细脉型。

3.2.4 控矿构造期次与阶段多次叠加

根据含矿建造形成、后期控矿构造叠加,及其表生氧化作用,将多期构造与耦合的热液脉动活动按成矿生成顺序划分为:沉积成岩成矿预富集期,构造-热液期,表生氧化-次生富集成矿期。构造-热液期又可划分为若干成矿阶段:早、中、晚及若干矿化阶段(表 4)。

3.3 中村-银花钒矿床

3.3.1 矿体特征

中村银花钒矿床位于下寒武统水沟口组下段,西起五色沟西沟 K10 探槽,东至东梅子沟 TC9 探槽,近东西展布,层状、似层状,矿层长超过 4 km,矿带宽 31.25~67.05 m,矿体产状与地层一致,平均倾角 48° ,共圈出 3 个矿体,其中,Ⅲ号矿体规模最大,占储量的 48%。

(1)Ⅲ号矿体

产于赋矿层位南部,沿含炭硅质岩夹含炭质泥板岩及炭质泥板岩层组成,产状与地层一致,矿体横贯全区,东西长 4000 m,延伸稳定,厚度 1.85~7.73 m,中部膨大部位厚 5.96~10.08 m, V_2O_5 平均品位 0.53%,最高 1.78%,一般在 $0.70\%\sim 1.17\%$ 。在 Tc-1-

表 4 夏家店金矿床成矿期与成矿阶段划分

Table 4 Metallogenic epoch and ore-forming stages of the Xiajiadian gold deposit in Qinling area

成矿期	成矿阶段	矿化蚀变特征	主要矿化矿物
沉积成岩成矿预富集期	成岩阶段	热水沉积重晶-石英-碳酸盐黄铁矿莓球、有机炭-磷吸附金等成矿物质	黄铁矿莓球、有机炭-磷吸附、金-钒等预富集
构造+热液改造期	早期热液阶段	①韧-脆性片理化矿化作用	黄铁矿、增生环带黄铁矿、白铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、次显微金、石英、铁白云石
	中期热液阶段	②一次角砾岩化矿化作用	
		③早期石英脉矿化作用	
		④二次角砾岩化矿化作用	
	晚期热液阶段	⑤重晶石-石英脉矿化作用	石英、铁方解石、重晶石、黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、显微金?
		⑥重晶石-方解石脉矿化作用	
表生氧化+次生富集成矿期	表生氧化阶段	⑦褐铁矿-氧化铁-次生加大金	褐铁矿、孔雀石、次生明金
	次生富集阶段	⑧铜蓝-斑铜矿-辉铜矿-显微金	铜蓝、斑铜矿、赤铜矿

K21 之间可圈出表内工业矿体,矿层东西两端薄(1.85~3.00 m)、中间厚(5.96~7.97 m), V_2O_5 品位 0.86%~1.17%,最高 1.78%,平均 1.02%。深部 1145 m 标高矿体厚由 6.00 m 增加到 13.736 m,品位由 0.79%增至 1.17%。

(2) I 号矿体

矿层沿薄层硅质岩顶板层状产出,控制长度约 3850 m,厚度 1.24~5.04 m,平均 2.40 m,各工程 V_2O_5 品位一般 0.58%~0.89%,个别达 1.07%。

(3) II 号矿体

位于 I 号矿体之下,由薄层硅质岩夹微薄层炭质泥板岩组成,矿体长 3250 m,向两端厚度较小,一般 1.50~5.85 m, V_2O_5 品位 0.61%~0.86%;矿体中部厚度大且稳定,平均厚 4.73 m,可圈出两个表内工业矿段,其中一矿段长 500 m,厚度 1.50~2.90 m,平均厚 2.43 m, V_2O_5 品位 0.81%~1.02%,平均 0.93%。另一矿段长 350 m,平均厚 3.35 m, V_2O_5 品位 0.91%~1.03%,平均 0.95%。

3.3.2 矿石特征

据赋矿岩性及矿层结构构造,可将矿石划分为硅质岩型、炭质粘土质泥板岩型和硅质-炭质泥板岩型 3 种钒矿石类型。

(1) 炭质粘土质泥板岩型钒矿石

主要分布于 III 号矿体中, V_2O_5 品位相对较高,0.58%~1.24%。按粘土矿物种类及杂质成分又可细分为 3 个亚类:

①含藻类炭质粉砂质高岭石泥板岩型:分布于 III

号矿体底部,矿石品位富, V_2O_5 平均品位达 1.05%。组成矿物为高岭石、绢云母、水云母,含量 85%~95%;次为由炭质及磷质组成的球藻 3%~5%,粒径 0.03~0.05 mm;石英粉砂 2%,另含有少量磷结核。

②炭质高岭石粘土泥板岩型:多分布于 III 号矿体中,品位较富, V_2O_5 含量平均达 0.92%,主要由微细高岭石组成,少量水云母、炭质尘埃,布于高岭石集合体之间,莓球状黄铁矿(3%左右),微晶硅质石英散布或纹层状布于矿石中。

③炭质水云母粘土泥板岩型:多为矿化,局部可达工业品位,显微鳞片水云母 85%、微晶高岭石 10%,微晶石英 5%、条纹硅质及微细脉状,炭质微粒散布于高岭石、水云母中,重结晶黄铁矿少量。

(2) 硅质岩型钒矿石

在钒矿体中普遍出现,多为贫矿, V_2O_5 平均 0.68%,由硅质岩夹薄层粘土板岩组成。硅质岩中石英 85%~95%,粒径小于 0.02 mm,微晶粒间布有水云母、绢云母、黄铁矿等,丝缕状-粉尘状炭质散布岩石中。

(3) 硅质-炭质粘土泥板岩型钒矿石

该矿石类型发育于地层岩性的过渡层位,由硅质岩与炭质粘土岩薄互层组成,矿石兼有粘土泥板岩型和硅质岩型矿石特征, V_2O_5 品位 0.82%~1.63%。

3.3.3 矿石地球化学特征

各类矿石的 X 荧光光谱常量分析见表 1,炭质泥板岩型、硅质泥板岩型为富钒矿石类型,其中含 Si 质较低,Al、K、Fe 相对较高,贫钒矿石含 Si 质较高,Al、K、Fe 相对较低。钒与铝、钾、铁存在较密切的地

球化学共生关系。

3.3.4 钒的赋存状态

对Ⅲ号上、下部矿体矿石分别进行统计,了解钒与岩性的关系,矿体上部硅质岩占 61%,粘土泥板岩占 39%,V₂O₅ 含量 0.91%。矿体下部硅质岩占 44%,粘土泥板岩占 56%,V₂O₅ 含量 1.16%(表 5),表明钒在下寒武统底部粘土质泥板岩层位相对富集。

对Ⅱ号矿体硅质岩夹互粘土泥板岩过渡层中两种岩性分别进行 V₂O₅ 测定,了解钒在矿石中的含量分配,粘土泥板岩占全岩的 75.2%,硅质岩中占全岩的 24.8%(表 6),粘土泥板岩含 V₂O₅1.77%,硅质岩含 0.25%,全岩分析 V₂O₅ 品位 0.72%。再一次表明,钒与岩石粘土质、泥质成分密切相关,钒在粘土泥板岩中相对富集。

由于显微镜下未见独立的钒矿物,对粘土质泥板岩型钒矿石物相分析,试样中被硫酸盐溶解的钒为 1.27%,钒酸盐、磷酸盐中的吸附状态钒占 62.42%,硅酸盐中钒占 35.67%。说明钒以钒酸盐、磷酸盐及吸附状态存在于高岭石、水云母中为主。

3.4 矿床成因及富集规律

综上研究认为,中村银花钒矿床的形成与秦岭两大古陆的俯冲-碰撞构造背景的演化密不可分,下寒武统水沟口组含矿黑色岩系是扬子大陆向华北大陆俯冲启动下,于早寒武世扬子大陆北缘斜坡出现拉伸裂谷式沉积环境,发育滞留深水环境下的炭-泥-灰-重晶石-硅质沉积建造,硅质岩-重晶石硅质岩层是热水喷流沉积产物。在该岩系的炭泥质板岩层与炭质泥板岩-炭质硅板岩薄互层中形成中村银花大型钒矿床。中村银花钒矿床矿体呈层状产出,矿层属于地层组成的一部分,矿层产出随沉积旋

回有规律的变化,往往赋存在海进与海退的岩性转变过渡带上^[8],其标志性的层位是含炭硅质岩和含炭粘土泥板岩薄互层段。该过渡层下部为含重晶石黑色硅质中厚岩层,表明拉张构造环境下的含热水喷流沉积产物,其上部为中薄层状碳酸盐岩,代表海退趋势环境下的沉积。两者之间薄互层状黑色硅质岩和粘土泥板岩组成,反映海水沉积构造动荡环境,形成钒的工业富集。

4 矿床成因类型

4.1 中国黑色岩系有关矿床成因类型

中国黑色岩系主要分布于元古宙至古生代地层中,按含矿黑色岩系成矿元素性质及组合,将赋存于黑色岩系中金属矿床与非金属矿床划分为 3 类^[9]:①硫化物及多元素矿床,以贵金属、多金属矿化为主,多以沉积-改造型矿床;②沉积-变质碳酸盐型锰矿床;③沉积及沉积成岩型钒、碳酸钡-硫酸钡(毒重石-重晶石矿床)矿床。

也可按成矿作用将赋存于黑色岩系中矿床划分为 4 类^[9]:①同生沉积矿床;②沉积-成岩矿床;③沉积+构造-热液改造矿床;④沉积+变质和沉积-受变质矿床;⑤表生淋积矿床。此外相当多的矿床属于多重叠加形成的。在此基础上尚可据含矿岩系的岩性组合划分不同的次级类型。

4.2 秦岭造山带黑色岩系有关矿床成因类型

众所周知,黑色岩系富含有机质的泥质-粘土岩、粘土-碳酸盐岩及硅质岩组合,是许多金属及非金属矿产聚集的含矿与容矿岩系,黑色岩系本身作为矿源层已无庸质疑,但成矿物质及成矿元素的赋存状态和形式还应加强研究。黑色岩系中赋存的矿

表 5 矿石的 X 荧光光谱常量组分分析/10⁻²
Table 5 X-fluorescence spectral analyses of major components in ores/10⁻²

矿石类型(件)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TFe	TiO ₂	P ₂ O ₅	LOI
硅质岩型(4)	85.31	4.85	0.47	0.54	0.08	1.94	1.96	0.23	0.34	2.59
碳质泥板岩型(4)	60.07	8.62	0.97	1.92	0.09	4.39	4.24	0.36	0.31	16.94
硅质泥板岩型(3)	72.69	9.86	4.03	0.66	0.10	4.06	3.46	0.43	0.24	6.07

测试单位:西北有色地质研究院测试中心。

表 6 中村银花钒矿床钒在主要容矿岩石中赋存状态

Table 6 Modes of occurrence of vanadium in host rocks of the Zhongcun-Yinhua vanadium deposit

Ⅲ号硅岩与泥岩薄互层段	上部	硅质岩比例 泥板岩比例	61% 39%	V ₂ O ₅ 含量	0.91%	下部	硅质岩比例 泥板岩比例	44% 56%	V ₂ O ₅ 含量	1.16%
Ⅱ号硅岩与泥岩薄互层段		硅质岩比例 泥板岩比例	24.8% 75.2%	V ₂ O ₅ 含量	0.72%		硅质岩层 V ₂ O ₅ 含量 泥板岩层 V ₂ O ₅ 含量			0.25% 1.77%

表 7 陕西南部黑色岩系有关矿床成因类型

Table 7 Genetic types of ore deposits related to black rock series in the southern part of Shaanxi Province

成因类型	成矿背景与分布	成矿方式	矿床实例
沉积-成岩成因型	南秦岭	沉积成矿作用	银花钒矿床
	黑色岩系中带	成岩成矿作用	剑狮沟钒矿床
沉积-成岩+ 轻微改造成因型	南秦岭	沉积成矿作用	鲤鱼山钒矿床、鲁家坪毒重
	黑色岩系南带	成岩成矿作用	石-重晶石矿床
沉积-构造+ 热液强烈改造	南秦岭	沉积预富集成矿作用+构造+热液动	夏家店金矿床
	黑色岩系中、南带	热成矿作用	烂木沟金矿床
沉积-受变质-构造+ 热液改造	北秦岭	沉积成矿作用、变质成矿作用、构	清岩沟镍-钼矿床
	黑色岩系北带	造+热液改造成矿作用	

床包括贵金属、贱金属、分散元素和稀有、稀土金属等。目前秦岭造山带中发育的黑色岩系产出的相关矿产有:金—钒组合的矿床、镍—钼组合的矿床、单独的钒矿床、重晶石矿床和金矿床。

研究区黑色岩系中形成有关的矿床属于层控型矿床特点,对于金、镍—钼、铜等金属矿床来说,它们的形成需要多种地质作用的叠加,成矿作用具有多期—多阶段特点:同生及后生初始预富集成矿作用、包括成岩、深埋后生作用,后期叠加—改造成矿,包括变质与构造热液的改造和某些情况下的岩浆作用叠加也对成矿有重要贡献,因此,矿床具有多成因特征。按照含矿岩系沉积地球化学特点和成矿作用特征可将本区黑色岩系及其相关矿床划分为以下类型(表 7)。

参考文献(References):

[1] 张国伟,程顺有,郭安林,等.秦岭大别中央造山带南缘勉略古缝合带的的再认识—兼论中国大陆主体的拼合[J]. 地质通报, 2004, 23(9/10):846–853.

Zhang Guowei, Chen Shunyou, Guo Anlin, et al. Mianlue Palesuture on the southern margin of Central Orogenic of the mainpart of the continct of Chian [J].Geological Bulletin of China, 2004, 23(9/10):846–853(in Chinese with English abstract).

[2] 王靖华,张复新,于在平,等. 秦岭金属矿床成矿系列与大陆造山构造动力学背景[J]. 中国地质, 2002, 29(2):192–196.

Wang Jinhua, Zhang fuxin, Yu Zaiping, et al. Minerogenetic series of metallic ore deposits in the Qinling Mountains and

tectondynamic background of the continental orogenic belts [J]. Geology in China, 2002, 29(2):192–196 (in Chinese with English abstract).

[3] 张维吉,李育敬. 陶湾群层序及时代研究 [J]. 西安地质学院学报. 1989, 11(2):1–10.

Zhang Weiji, Li Yujing. The stratigraphic sequence of Taowan group and the time [J]. Journal of Xi'an institute of Geology, 1998, 11(2):1–10.

[4] 张复新, 候俊富, 张存旺, 等. 甘肃阳山超大卡林—类卡林型复合式金矿床特征[J]. 中国地质, 2007, 34(6):1062–1072.

Zhang fuxin, Hou Junfu, Zhang Cunwang, et al. Characteristics of super –large scale Yangshan gold deposit of Carlin –Carlin –like compound type in Gansu[J]. Geology in China, 2007, 34(6):1062–1072 (in Chinese with English abstract).

[5] 高菊生,王瑞廷,张复新,等. 南秦岭寒武系黑色岩系中夏家店金矿床地质地球化学[J]. 中国地质, 2006, 33(6):1371–1378.

Gao Jusheng, Wang Rueiting, Zhang Fuxin, et al. Geology and geochemistry of the Xiajiadian gold deposit in Cambrian black rock series in South Qinling [J]. Geology in China, 2006, 33 (6):1371–1378(in Chinese with English abstract).

[6] 范德廉,张焘,叶杰,等. 中国的黑色岩系及其有关矿床 [M]. 北京:科学出版社, 2004:49–54.

Fa Delian, Zhang Tao, Ye Jie, et al. Chinese Black–rock–series and Related Deposits[M]. Beijing:Science Presss, 2004:49–54(in Chinese).

[7] Starostin V I, Yapaskurt O V. Au–Cu black shale formations [J].(黑色页岩建造中的金—铜), 地学前缘, 2007, 14(6):1–11.

[8] Coveney Jr R M, Nanskeng C. Ni –Mo –PGE–Au –rich ores in Chinese black and speculation on possible analogues in the united States[J]. Mineral Deposits, 1991, 26:83–88.

Black rock series, types of ore deposits and ore-forming systems in Qinling orogenic belt

ZHANG Fu-xin, WANG Li-she, HOU Jun-fu

*(State Key Laboratory of Continental Dynamics, Northwest University; Department of Geology,
Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China)*

Abstract: The black rock series of Qinling orogenic belt can be divided into three parts. The north part is located in north Qinling orogenic belt and is composed of island volcanic rocks, granite zones and Erlangping marginal basins belt, with the Qinling Complex rock as the basement. There exists the trench-arc-basin system similar to the active continental margin as well as some small-sized sedimentary-metamorphic-structural-hydrothermal-reformation type Ni-Mo deposits. The middle part lies in the northern segment of South Qinling Orogenic Belt, and the profound to semi-profound faulted depression basins occur in the paleo-uplift of the surrounding island chains, in which black rock series related to hydrothermal sedimentation are developed. Superlarge sedimentary-reformed V deposits and sedimentary-structural-hydrothermal-reformation type V-Au deposits have been observed. The south part of the black rock series is in southern South Qinling Orogenic Belt, where rift-type faulted depression basins occur in a local extension environment of Early Paleozoic sedimentary areas. Extensive thick siliceous-argillaceous-barite interbedded rocks exist together with medium-sized sedimentary-reformed Mo-V deposits and large-sized hydrothermal sedimentary witherite-barite deposits. This paper has also dealt with the features and mineralization of representative ore deposits hosted in the black series, distinguished ore genetic types and established the metallogenic series.

Key words: black rock series; V-Au deposit; Ni-Mo deposit; Mo-V deposit; ore-forming system; Qinling Orogenic Belt

About the first author: ZHANG Fu-xin, born in 1945, professor and supervisor of doctor candidates, engages in mineral deposits and geochemistry; E-mail: zhangfux@nwu.edu.cn.